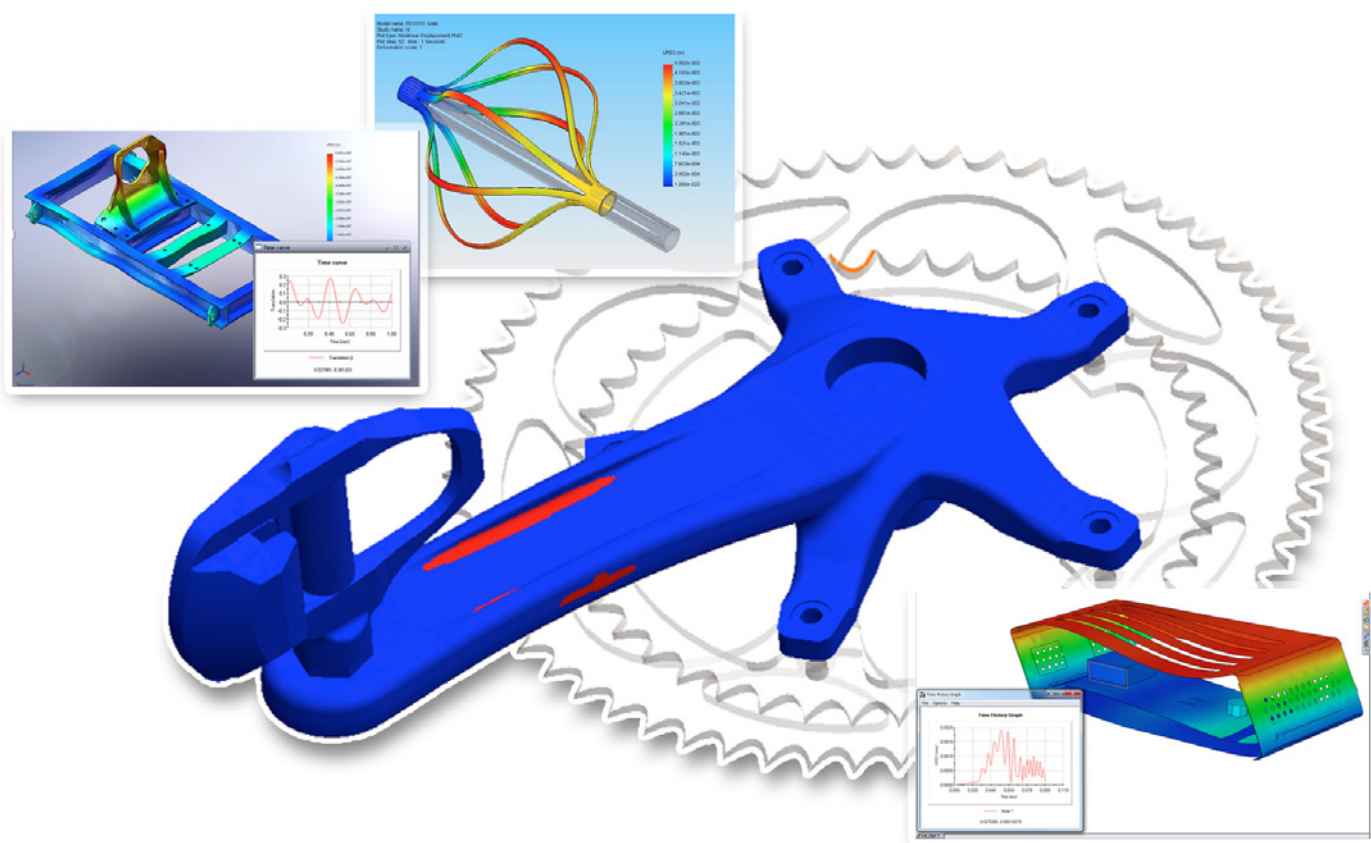


借助精确的设计仿真提升产品开发水平

白皮书



摘要

打造创新产品需要洞察设计性能，而能够预测设计行为的设计工程师在工作时会更高效、更具创新性和更成功。使用 SOLIDWORKS Simulation 3D CAD 集成分析解决方案，您可以直观、精确和低成本地模拟产品的表现性能，使您能够精确地定义尺寸和优化设计，同时减少原型制作和耗时的试验过程。SOLIDWORKS Simulation 使您可以精确地求解复杂的分析问题，帮助您克服时间、预算和质量的挑战。

仿真精确度如何让产品开发受益

开发成功的产品需要创新、可靠性和速度。作为一名设计工程师，您不仅必须满足形状、配合和功能要求，还必须以更快的速度和更低的成本创建独特、可靠、并且可制造的产品设计。要实现这些目标，您需要尽可能早地了解您的设计在实际运行环境下将如何工作，而不用求助于昂贵、耗时的多轮物理原型测试或外包仿真。

使用集成的 SOLIDWORKS Simulation 解决方案，您可以直接在 SOLIDWORKS CAD 软件内运行精确的 FEA 仿真，让您可以在开发过程的早期快速获得结构分析结果，如应力水平、变形形状、产品寿命等。掌握了这些重要信息，您可以做出重要的设计决策，以帮助您：

- 创建产品创新
- 减少原型制造
- 缩短产品上市时间
- 优化材料使用
- 消除设计的不确定性
- 尽量减少现场性能问题
- 减少保修索赔和退货
- 提升盈利能力

凭借直观的用户界面、强大的解算器和广泛的分析功能，SOLIDWORKS Simulation 为您提供了一个集成的设计分析解决方案，不仅速度更快、更容易使用，还与任何其他仿真软件包一样精确。本文将探讨分析精确度，以及 SOLIDWORKS Simulation 软件中独特的精度、易用性和功能组合如何能让您的产品开发工作中受益。

“我可以在几小时内求解以前需要花费一星期时间的非线性仿真问题。有了这样的速度，我可以快速优化和交付能够正常工作的设计。”

David R. Caldwell
项目工程师
史密森天体物理天文台



精确地模拟太阳风的效应

史密森天体物理天文台 (SAO) 隶属于哈佛-史密森天体物理中心 (CFA)，该天文台与领先的天体物理学家和科学家合作开发先进的研究仪器和系统。SAO 利用 SOLIDWORKS Simulation Premium 软件应对最棘手的工程挑战，例如人类对恒星的首次探访。

美国国家航空航天局 (NASA) 将于 2018 年发射“太阳探测器+”(SPP)，这个汽车大小的航天飞行器将直接进入太阳的大气层。SAO 的任务是开发太阳风电子阿尔法和质子 (SWEAP) 装备，其中包括一个法拉第传感器，它将测量太阳风中的电子、质子和氦离子的属性。由于该传感器位于航天飞船外部，要耐受强烈的热量和辐射，因此整个项目极具挑战性。

“这个传感器的工作环境极其恶劣，我们必须使用集成的分析工具进行分析，”项目工程师 David R. Caldwell 介绍道。“我们最近在马歇尔太空飞行中心的太阳风设施中运行了原型测试，该传感器的工作情况与我们的 SOLIDWORKS 仿真预测吻合良好。”

“对于太空飞行系统而言，重量是至关重要的，”Caldwell 补充道，“SOLIDWORKS Simulation Premium 为我们提供了更改厚度或材料以及真正优化设计所需的信息。”

FEA 模拟现实的精确度如何？

一般情况下，FEA 系统利用有限元方法（一种离散数值技术）来近似计算关于物理与工程的微分方程式边界值问题。该模型被表示为离散的几何体——用单元来网格化几何体。因为 FEA 解决方案（无论哪种软件）是基于有限元方法，其解决方案将永远是一个近似值，这个值的精确度足以支持您做出重要设计决策，但绝对无法 100% 完美地反映现实，而且它还含有离散误差。

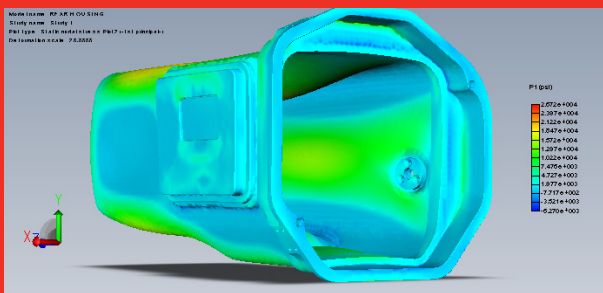
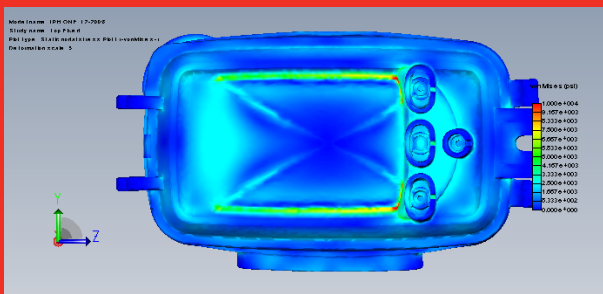
FEA 解算器利用计算算法来生成从设计几何体、约束、材料属性到载荷的每个部件的微分方程式。然后，它们将微分方程式转化为每个单元的矩阵方程式，为模型生成一个全局的矩阵方程式。这一般通过使用直接稀疏或迭代解算器进行求解：直接稀疏解算器采用高斯消元法求解全局矩阵方程式；迭代解算器使用域分解法。

FEA 的数学基础意味着工程师必须精确地应用载荷和边界条件，以得到尽可能接近真实的答案。由于 FEA 代表了设计性能的近似估算情形，因此为了尽可能精确地模拟现实，要求正确地设置分析问题。

关于 FEA 模拟现实的精确度的真正问题是：您需要有多精确？在大多数情况下，误差不超过 $\pm 5\%$ 就能够提供做出正确设计决策时所需的洞察力。

“SOLIDWORKS Simulation 使我们可以在设计过程中了解水下压力和作用力的影响，这可以节省时间和资金。”

Stephanie Griffin Peña
项目工程师
Watershot, Inc.



精确的仿真促进防水外壳开发

Watershot, Inc. 设计和制造的防水外壳用于专业水下摄影师和电影摄影师使用的摄像机，以及用于潜水、浮潜和自由潜水爱好者使用的智能手机。该公司依靠 SOLIDWORKS Simulation 分析软件，确保其防水外壳能够承受水下不同深度产生的压力和作用力。

该公司的工程师们已经开始重视 SOLIDWORKS CAD 和 FEA 软件的直观集成，因为它可以提高开发速度。采用 SOLIDWORKS 集成的设计分析工具，Watershot 可以快速创建设计概念，并模拟它们在水下不同深度的性能。由于 Watershot 工程师可以精确地模拟产品行为，因此他们可以精化设计，同时避免成本昂贵的原型。

例如，在 iPhone 4 防水外壳的开发过程中，模具样品显示，在一定的深度上该外壳会挤压智能手机的触摸屏，妨碍手机正常工作。SOLIDWORKS Simulation 软件使 Watershot 能够解决这个经典的挠曲问题，并且优化设计，而无需进行实际的模具更改。

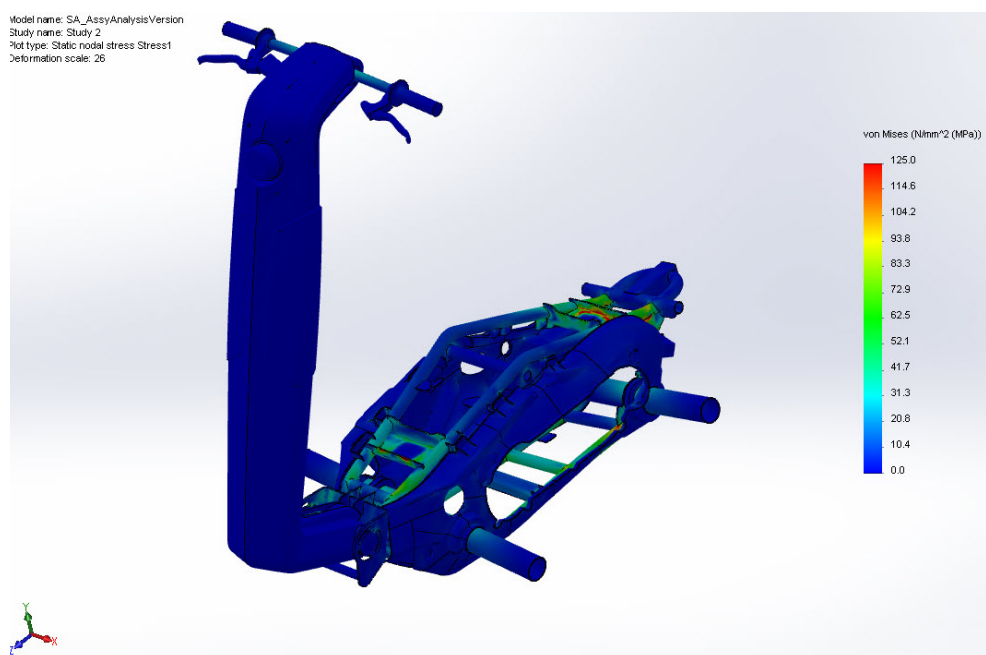
“我们会定期了解其他开发解决方案，但每次 SOLIDWORKS 都表现的最好，”项目工程师 Stephanie Griffin Peña 强调道，“这款软件提供了我们需要的一切，而且 Simulation 与 CAD 软件包协同工作的方式确实简化了流程。”

您能模拟什么？

有限元分析 (FEA) 和计算流体力学 (CFD) 仿真技术使您可以使用基于计算机的数学建模来估算和模拟物理世界的复杂现象,包括结构、热传递、流体流动和动力学行为。

结构分析

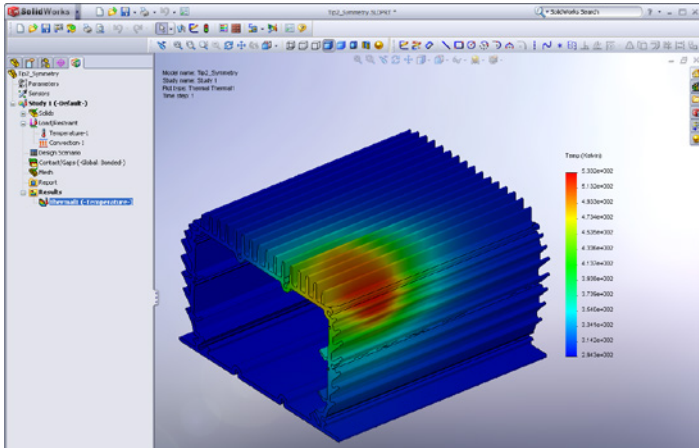
您可以使用 FEA 软件来模拟涉及固体力学的各种行为。在运行载荷下,结构(无论是机械零部件还是桥梁桁架)内所产生的应力是否会导致其断裂、扭曲、屈服或变形?什么是结构的自然频率?它们会如何影响设计性能?位移、振动或疲劳呢?在创建两个或多个部件相互接触的设计时,您可以探索这种接触对设计性能的影响情况。您也可以运行运动学算例,并利用这些结果来了解重要载荷信息,以便运行后续的结构分析。



结构分析可显示应力分布情况,以发现临界区域

热分析

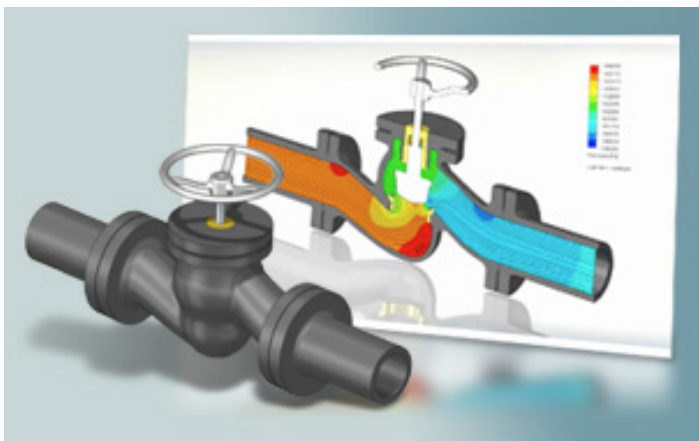
出于安全和性能方面的原因,了解热传递如何影响设计性能对于越来越多的产品而言非常重要。许多材料的属性都会受到温度的影响,您可以使用仿真软件来模拟不同类型的热传递(包括传导、对流或辐射),并计算在您的设计及其环境中的零部件内或零部件之间的热传递。您可以模拟瞬态和稳态的影响。热问题可以使用结构或流体分析来求解。在热结构分析中,运动空气或液体的效应成为载荷或边界条件。在流体分析中,可以计算运动流体(无论是液体还是气体)的热效应。



热分析可以帮助产品工程师在设计过程的早期预测过热问题

计算流体力学分析

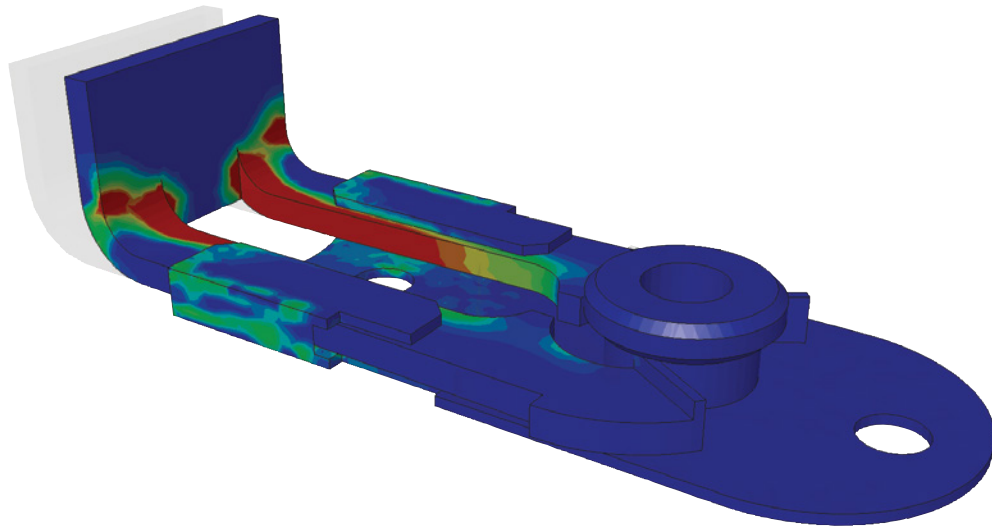
您可以使用计算流体力学 (CFD) 分析软件来满足不断增长的需求,即了解流体(无论是液体还是气体)的行为和动力学如何影响设计性能。虽然最初主要用于替代昂贵的风洞试验以改进飞机和汽车的空气动力学特征,但是 SOLIDWORKS Flow Simulation CFD 分析技术现在正越来越多地用于评估其他与流动相关的问题,如验证电子设备是否冷却充分;最大程度提高暖通空调 (HVAC) 系统的性能;以及改善其他基于流动的制造工艺。



热分析可以帮助产品工程师在设计过程的早期预测过热问题

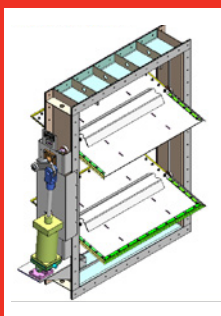
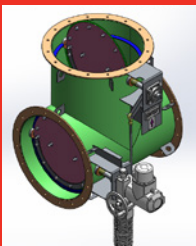
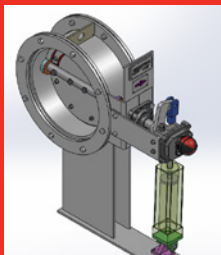
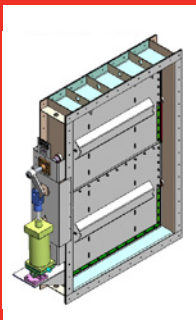
线性或非线性 FEA

虽然您可以使用线性 FEA 分析工具来模拟多种类型的设计行为,但是有些物理现象在本质上是非线性的。换句话说,物理响应与应用的载荷和边界条件不相称。无论您正在处理非线性材料(如橡胶或塑料)、非线性几何体、零件之间的非线性相互作用还是非线性载荷和边界条件,您都需要运行非线性 FEA 分析,以提高估算的精确度。



“SOLIDWORKS 提供仿真结果非常精确,我们完全没有必要再制作原型和进行测试。”

Subhash Bidwai
总经理
DEMECH Esscano Power India
Pvt. Ltd.



仿真精确度推动进入工业阻尼器市场

许多工厂和车间(包括电厂、钢铁厂、水泥厂、石化厂以及其他与流程相关的生产)都有限制气体和液体的需要,这使得工业阻尼器成为必需品。DEMECH Esscano Power India Pvt. Ltd. (DEP) 是 Esscano Power A/S Denmark 和 Deccan Mechanical & Chemical Industries Pvt. Ltd. 共同创办的一家合资企业,成立的初衷就是为了应对阻尼技术充满挑战性的要求。

DEP 设计和制造多种类型的工业阻尼器,包括多百叶阻尼器、蝶形阻尼器、滑动阻尼器和其他变型。通过引入具有性能和成本优势的新概念,该公司迅速在工业阻尼器市场占据主导地位。

通过使用 SOLIDWORKS Simulation Premium 和 SOLIDWORKS Flow Simulation 软件,DEP 已不再需要制作原型和执行系统测试。该公司依靠 SOLIDWORKS 仿真工具来支持自己的生产目标:保证生产的阻尼器达到 99.95% 至 100% 的有效性。

“我们开始使用 SOLIDWORKS Simulation 计算叶片在极高温度下工作时的热膨胀,”总经理 Subhash Bidwai 说,“为了应对这种热膨胀,我们需要提供足够的间隙,但同时又要防止出现泄漏问题,以免影响阻尼器的有效性。SOLIDWORKS 提供仿真结果非常精确,我们完全没有必要再制作原型和进行测试。”

与 FEA 专家PAWEL M. KUROWSKI 博士问答

Pawel M. Kurowski 博士是西安大略大学工程学院助理教授,也是产品设计、设计分析和固体力学领域的著名专家。在成为教授之前,Kurowski 博士在汽车、国防和重型装备行业做了超过 20 年的设计和研发工程师。

您为什么决定统一使用 SOLIDWORKS Simulation 解决方案作为您工程课程的首选工具?

我非常支持设计工程师使用 FEA 工具,因为他们对产品的工作环境和设计意图了解的最全面,并且是在设计过程的早期使用 FEA 优化设计的最佳人选。我们之所以统一使用 SOLIDWORKS Simulation 软件,是因为它与 SOLIDWORKS 3D 建模环境完全集成并直接对接,因此学习和使用起来更简单。

您如何在自己的工程课程中利用 SOLIDWORKS Simulation 软件?

我们在本科生和研究生的 FEA 课程中使用 SOLIDWORKS Simulation。其中一门课程就是高级计算机辅助工程 (CAE),课上结合使用了 SOLIDWORKS Simulation、SOLIDWORKS Flow Simulation 和 SOLIDWORKS Motion Simulation,以研究会影响设计性能的各种物理现象。这款软件的功能非常强大,学生可从各个角度查验设计行为,无论是结构、流体流动、热、运动、振动、可制造性还是可持续性设计。SOLIDWORKS Simulation 和 SOLIDWORKS Flow Simulation 在单一窗口的设计和分析环境中提供了最广泛的 FEA 和 CFD 功能。通过使用 SOLIDWORKS Simulation 软件,我们在数值设计分析方面为学生提供了坚实的基础。

CAD 集成和易用性是否让 SOLIDWORKS Simulation 变得没有其他 FEA 软件包那么强大?

没有。实际上,情况恰恰相反。SOLIDWORKS Simulation 比其他 FEA 软件包更强大,因为它更易于学习,上手更快。所有 FEA 程序都是基于有限元方法,并且数学基础都大体相同。SOLIDWORKS Simulation 的过人之处在于它在 CAD 建模集成、直观的用户界面、设计良好的解算器、网格控制和分析类型的范围等方面更胜一筹。

使 SOLIDWORKS Simulation 变得易于使用会不会让它变得不那么精确?

不是的。该软件易于使用并不意味着它被简化或变得不那么精确。FEA 的精确度取决于能否正确地界定问题、理解要运行的分析类型,以及能否保持数学模型的完整性。没有 FEA 程序是 100% 精确的,因为它们都是使用了相同的数值离散方法。在精确度方面,SOLIDWORKS Simulation 和任何其他程序一样强大。我认为,由于 SOLIDWORKS Simulation 更容易使用,我们可以更加简单地精确设置分析问题,那么得到结果会更精确。



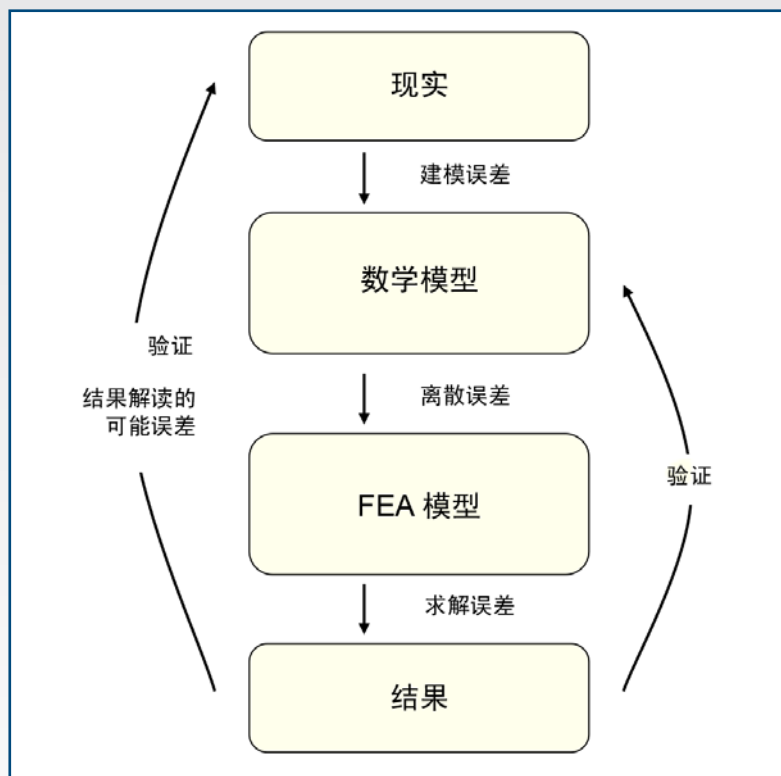
用户如何才能增加 FEA 结果的精确度？

有两个因素会影响 FEA 软件包的精确度。一个因素是正确地设置问题，方法是使用正确类型的分析，输入精确的材料属性、载荷和边界条件，并为您要运行的分析类型选择正确的单元。另一个因素是使用自适应方法和网格控制来控制离散误差大小。离散误差是 FEA 中固有的，您可以用网格控制来手动控制它或者通过使用 h-自适应或 p-自适应网格来自动控制它。在 SOLIDWORKS Simulation 中，您可以在感兴趣的区域使用这些技术细化自动生成的网格。h-自适应方法可在感兴趣的区域增加单元数量以提高精确度，同时，p-自适应技术可针对具有高估计误差的区域中的单元增加用于逼近位移场的多项式的阶数，以提高精确度。

FEA 结果需要有多精确？

这是设计工程师在运行分析之前应该问自己的问题。精确度取决于：

1. 在分析类型、材料属性和边界条件等方面，是否明确界定了问题。我们称之为建模误差。问题的界定和相关的建模误差是 FEA 之外的问题。建模误差的控制与正确界定问题相关。
2. 此问题的离散化程度如何？这称为离散误差。在大多数情况下，精确度达到百分之几就已经足够了，但借助 SOLIDWORKS Simulation 提供的工具（从简单的手动网格细化到高级的自动化 h-自适应方法），您可以随心降低误差百分比。
3. 此问题求解得怎样？这是解算器积累的数值舍入误差。在 SOLIDWORKS Simulation 中，这个误差可通过使用快速和设计良好的解算器最大程度地减少。



单元类型是否会影响精确度？

当然会。例如，薄壳单元用于模拟平面应力在厚度中呈线性分布的情形，使用此单元来模拟平面应力在厚度中不呈线性分布的壳壁就会产生不正确的结果。二维平面应力单元假定整个厚度中的应力都是恒定相同的，如果我们在分析应力会在整个厚度中发生变化的问题时使用了这种单元来建模，同样会得到错误的结果。“单元误用”的情形非常多，我们必须选择那些能够为预期的应力分布模式建模的单元，这适用于任何 FEA 程序。单元本身没有所谓的“精确”或“不精确”问题，“精确度”一词针对的使用有限单元构建出的网格。

哪个更精确：六面体或四面体单元？

要理解为什么有些 FEA 用户说六面体单元比四面体单元更精确，我们需要追溯到 20 世纪 80 年代初。当时，运行 FEA 程序时所使用的计算机要比现在慢得多。分析师不得不限制模型的大小，这意味着要使用大尺寸的一阶单元，让模型能够运行就行。因此，一阶六面体单元与相同大小的一阶四面体单元相比具有显著的优势，这是因为，一阶六面体单元可以模拟二阶的位移场和线性应力场，而一阶四面体单元只能模拟线性位移场和恒定应力。因此，一阶六面体单元起到二阶四面体单元的作用。如果您想使用四面体，而不是六面体，则必须使用二阶四面体单元或更小尺寸的一阶四面体单元，这两种选择在 20 世纪 80 年代时期的电脑上都难以实现。

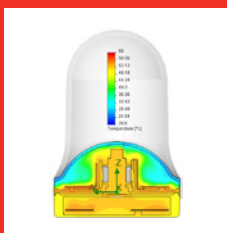
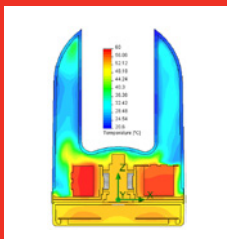
今天，没有人再使用一阶单元。自动网格生成器可以轻松创建大网格，高效的解算器可以迅速求解问题，普遍存在的二阶四面体单元可以模拟二阶位移场和一阶应力场。在现代 FEA 程序中，六面体单元与四面体单元相比不再有任何优势。这里还存在网格的美学问题，许多人发现六面体网格更美观，即使模型外表面非常漂亮的六面体内部可能隐藏着高度扭曲的六面体或四面体单元。

FEA 令一些设计工程师望而生畏。为什么？

因为很多 FEA 软件包使用起来都很有难度，对于设计工程师而言极具挑战性，如果没有经过长时间的强化训练，很难获得有意义的结果。这正是 SOLIDWORKS Simulation 软件成为我首选的 FEA 解决方案的原因，它使设置分析问题和生成精确、有意义的结果变得更加容易。使用 SOLIDWORKS Simulation 软件，工程师只需几个小时的入门培训，就能快速上手。

“我们为 SOLIDWORKS Flow Simulation 的精度赞叹不已。借助它极高的精度，我们可以快速地评估各种新型办法。”

Marcel Tremblay
FLIR Systems, Inc.
机械工程总监



精确的仿真结果激发热成像相机的创新

FLIR Systems, Inc. 是全球领先的热成像红外相机制造商。该公司依靠 SOLIDWORKS Simulation Premium 和 SOLIDWORKS Flow Simulation 软件来开发新型的海事、安防和手持式热成像应用设备。

例如，在 M 系列海上平移和倾斜相机的开发过程中，工程师必须将初始设计的高度降低 1.5 英寸，这导致温度上升并超出电机的规格。FLIR 进行了一系列的设计更改并运行了耦合的流动/热分析。通过这个过程，FLIR 无需制造原型，就成功修改了设计并将温度降低了 23°C（缓冲 6°C）。

“M 系列摄像机的设计过程彰显了流动/热力学耦合分析的强大功能，”机械工程总监 Marcel Tremblay 说道，“这一切都与里面的空气有关，流动/热力学耦合分析与仅仅分析传导或对流相比更加精确。它使我们能够模拟各种情况，以便更好地了解哪些设计更改更容易获得成效，而无需真正地针对设计来制造原型。这可以节省几个月的时间。”

“SOLIDWORKS 是易用性和强大功能的完美结合，”Tremblay 说，“CAD 系统使建模变得很容易，而仿真工具让我们能够优化、精化设计，并提高设计的可靠性。”

SOLIDWORKS Simulation : 精确度 + 直观性= 强大

SOLIDWORKS Simulation 解决方案在改进产品开发过程方面拥有最大的潜力,因为它具有独特的易用性、速度、精确度和功能组合。使用 SOLIDWORKS Simulation 软件,您可以直接从 SOLIDWORKS CAD 建模环境中访问一系列各种各样的分析功能,其中包括解算器、网格和结果交流工具。

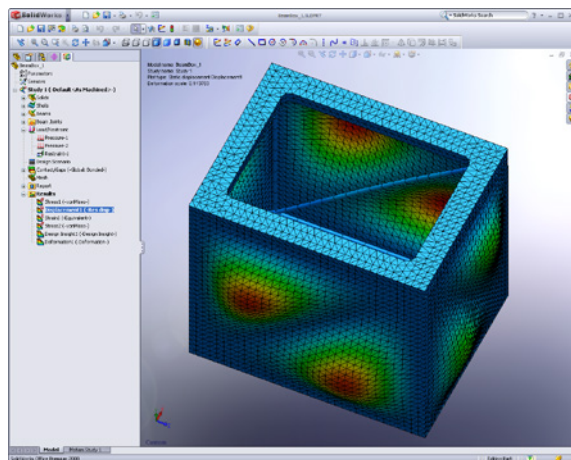
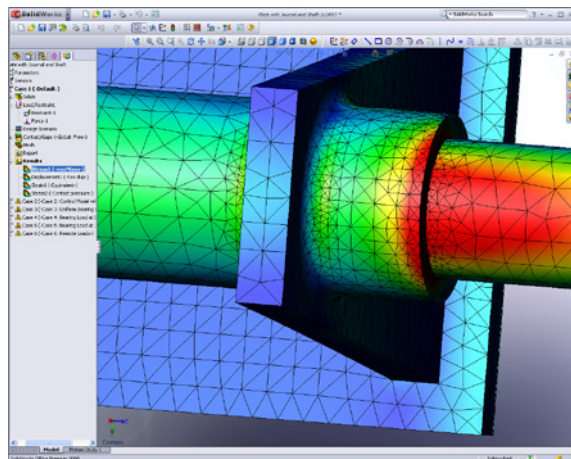
功能

SOLIDWORKS Simulation 解决方案拥有一套完整的分析类型,可满足几乎所有的仿真需求,其中包括:

- 结构分析,从简单的线性问题到高度非线性的问题
- 线性和非线性振动分析
- 热分析 – 稳态和瞬态
- 疲劳寿命分析
- 流体流动分析
- 运动仿真
- 将上述功能结合在一起的多物理场耦合分析

SOLIDWORKS Simulation 解决方案还允许您在这些分析类型内运行多种算例,包括:

- 静态 (应力)
- 频率
- 屈曲
- 疲劳
- 振动分析
- 接触
- 装配
- 非线性
- 动态
- 模态时间历史
- 谐波
- 无规则振动
- 响应波谱
- 设计优化
- 运动学和动力学
- 塑料和橡胶零部件
- 流体流动
- 电子热管理
- 热舒适性因素
- 耦合的热力 – 结构
- 耦合的热力 – 流体
- 塑料模具填充
- 可持续性



网格生成器

SOLIDWORKS Simulation 软件让您充分利用其快速的自动网格生成器,以及灵活而强大的网格优化工具,包括可提高仿真精确度的 h-自适应和 p-自适应功能。您可以选择根据自己的几何体来生成实体、壳体、横梁或混合网格类型。您也可以选择以 3D 和 2D 形式表达自己的问题。在 SOLIDWORKS CAD 中紧密集成 SOLIDWORKS Simulation 可实现将几何体类型自动转换为网格类型,将焊件转换为横梁,将曲面转换为壳体。

解算器

SOLIDWORKS Simulation FEA 软件使您能够利用其 Direct Sparse 或 FFEPlus 解算器的直接或迭代求解方法。该软件会自动选择适合特定分析的最佳解算器。例如,该软件会将 Direct sparse 解算器用于静态、频率、扭曲和热力算例,并且默认将 FFEPlus 迭代求解器用于非线性和接触分析。对于大型模型(具有数以百万计的自由度(DOF)),将自动使用大型的 Direct Sparse 解算器。

结果交流

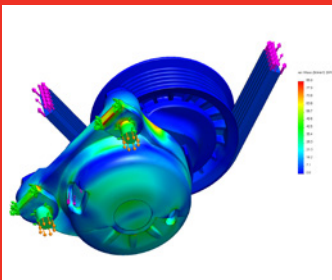
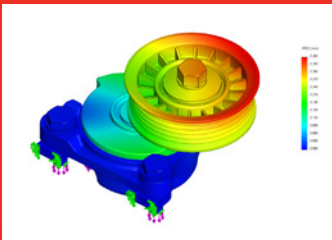
在需要存档的分析算例运行完毕后,SOLIDWORKS Simulation 软件可自动根据结果生成工程报告。您可以快速、轻松地创建动画,以突出显示结构、热力、运动和液流算例的结果。您还可以将分析结果保存到一个压缩的 SOLIDWORKS eDrawings 文件中,以便通过电子邮件、平板电脑和智能手机交流结果。

CAD 集成

SOLIDWORKS Simulation 软件与其他 FEA 软件包的真正区别是它完全集成在 SOLIDWORKS CAD 建模环境内。使用 SOLIDWORKS Simulation 时,无需导入或导出模型即可根据仿真结果运行分析,或者修改模型然后重新运行分析。由于所有 FEA 和 CFD 仿真都在 SOLIDWORKS CAD 建模环境中进行,所以您可以在初始设计阶段更有效地充分利用 Simulation。您也可以利用 CAD 工具(如设计配置)在单个模型上运行一系列的分析、在一系列的模型上运行单个分析,或将两者结合起来。您也可以利用 CAD 数据(如材料属性、零件定位(配合)或扣件定义)来简化仿真的设置。

“当我们设计产品时,我们需要能够运行一系列仿真算例——从复杂的接触有限元分析到设计优化、灵敏度、运动分析和疲劳算例。我们需要一个 FEA 解决方案,它不仅可以处理所有这些类型的分析,还可以立即产生精确的结果。那个解决方案就是 SOLIDWORKS Simulation Premium。”

Steve Jia 博士
CAE 技术和材料工程,
首席工程师
Litens Automotive Group



快速、精确的仿真加速传动系统设计

Litens Automotive Group 在工程动力传动系统和部件的设计和制造方面居于全球领先地位。Litens 是汽车行业的 1 级供应商,它通过不断开发创新性的产品来解决车辆性能以及噪音、振动和粗糙度 (NVH) 的难题,从而保持着其市场领导地位。

通过使用 SOLIDWORKS Simulation Premium 软件将仿真作为设计过程的一个组成部分,Litens 减少了原型迭代和相关的成本,同时加速了其开发过程。该公司的工程师直接在 SOLIDWORKS 设计环境中进行非常复杂的接触分析以及运动学、动力学、疲劳、位移和热力学仿真。

“时间是关键因素,而使用 SOLIDWORKS Simulation Premium 软件中的快速解算器,我们可以在几个小时内求解整个装配体的接触分析。还有什么软件可以做到这一点?”首席工程师 Steve Jia 博士说道。“说到使用 CAE 进行虚拟产品开发帮助我们节省的时间和原型制造成本,这个数字相当于每年数百万美元。”

“SOLIDWORKS Simulation Premium 软件的魅力在于,它提供了强大的网格生成器、快速解算器,并能轻松地处理具有非常复杂的接触情况的超大型装配体仿真。”Jia 博士补充说道。“我们已经使用 SOLIDWORKS Simulation Premium 获得了优异的 ROI (投资回报),它已成为我们日常工作中必不可少的工具。”

验证 SOLIDWORKS Simulation 的精确度

您可以通过来自国家有限元方法和标准机构 (NAFEMS) 的验证问题和基准来验证 SOLIDWORKS Simulation 的精确度, NAFEMS 随附在该软件中。SOLIDWORKS Simulation 软件包含所有分析类型的验证问题, 它们将 SOLIDWORKS Simulation FEA 结果与已知的解析解进行比较。该软件还包含 NAFEMS 在静态、散热、非线性、频率和线性动力学算例方面的基准, NAFEMS 基准记录了所有商用 FEA 分析软件包的分析结果的精确度。SOLIDWORKS Simulation 和 NAFEMS 验证问题的例子如下。

悬臂钢梁的折弯分析

说明

用于计算当在悬臂梁的悬臂自由端上施加大小为 1 磅力的剪切载荷时, 悬臂梁的最大挠度和最大旋转量 (θ)。悬臂的长度为 10 英寸, 其横断面的尺寸为 1 英寸 X 1 英寸。悬臂梁建模为通过接合接触条件在公共面连接的两个相同悬臂。

算例类型

静应力分析

网格类型

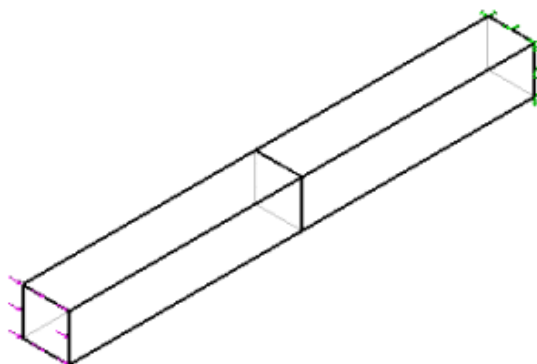
单独算例中的实体网格和横梁网格

材料属性

弹性模量 = 1×10^6 psi,

泊松比 = 0.4

结果



	理论	SOLIDWORKS Simulation 实体网格	SOLIDWORKS Simulation 横梁网格
自由端位移 (UX), 英寸	-0.004	-0.004	-0.004
自由端旋转 (RY), 弧度	-0.0006	不可用	-0.0006

分析结果

自由端位移: $UX = (2 * P * L^3) / (6 * E * I)$

末端旋转量 $\theta = 3 * UX / (2 * L)$

其中:

- P: 抗剪力
- L: 横梁长度
- E: 弹性模量
- I: 区域惯性动量

三角形翼的自然频率

说明

计算等边三角形翼的自然频率。三角形边长为 6 英寸,厚度为 0.034 英寸。其中一条边固定。

算例类型

频率

网格类型

壳体网格

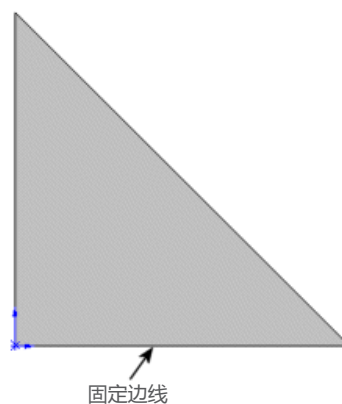
材料参数

壳体厚度 = 0.034 英寸 - 薄壳公式

材料属性

弹性模量 = 6.5×10^6 psi,

泊松比 = 0.3541, 密度 = 0.06411 lb/in³



结果

频率编号	理论 (Hz)	SOLIDWORKS Simulation (Hz)	
		草稿网格	高品质网格
1	55.9	55.917	55.925
2	210.9	211.130	211.363
3	293.5	292.701	293.198

参考文件

"ASME Pressure Vessel and Piping 1972 Computer Programs Verification", by I.S. Tuba and W.B. Wright, ASME Publication I-24, Problem 2.

正交各向异性板内的稳态热流

说明

有一块 1 米 X 2 米 X 0.1 米的矩形板材,其热量速率为 $Q = 100 \text{ w/m}^3$ 。这块板材有两个相邻边经过隔热处理,另外两边会向温度为 0°C 的大气散出热量。该板具有正交各向异性属性。确定板内的稳态温度分布。

算例类型

稳态热力分析

网格类型

壳体网格

壳体参数

壳厚度 = 0.1 米 - 薄壳公式

材料属性和其他输入

X 热导率 = $KX = 10 \text{ w/(m.K)}$, Y 热导率 = $KY = 0 \text{ w/(m.K)}$

沿长边的对流系数 = $h_1 = 10 \text{ w/m}^2.\text{K}$, 沿短边的对流系数 =

$h_2 = 1 = 20 \text{ w/m}^2.\text{K}$

建模提示

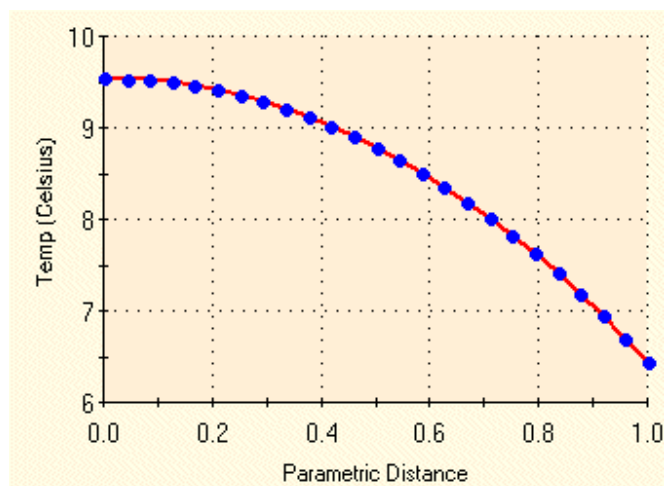
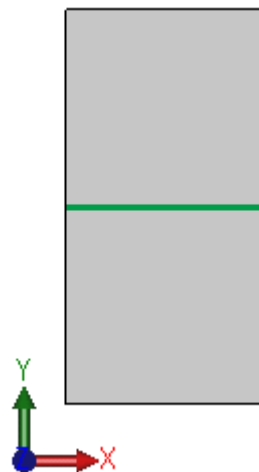
对该板材的一半进行建模。
如果没有其他应用条件,会自动采隔热条件。

结果

沿模型底边 X 方向的温度变化图表如下图所示。该图表与参考结果非常一致。

参考文件

M. N. Ozisik, "Heat Conduction," Wiley, New York, 1980.



NAFEMS 非线性分析基准

悬臂的扭转屈曲

一根悬臂在 Y 方向内承受 $P = 0.017 \text{ N}$ 的恒定载荷, 请确定梢端 Z 挠度。固定悬臂的边线 AB。按照保守载荷情况求解此问题。添加一个微小的横向载荷来模拟增量非线性分析的应用缺陷。

算例类型

非线性静态与大型位移公式

网格类型

壳体网格

网格大小

使用全局单元大小为 1.5 毫米的标准网格

壳体参数

壳厚度 = 0.2 毫米 - 薄壳公式

材料属性

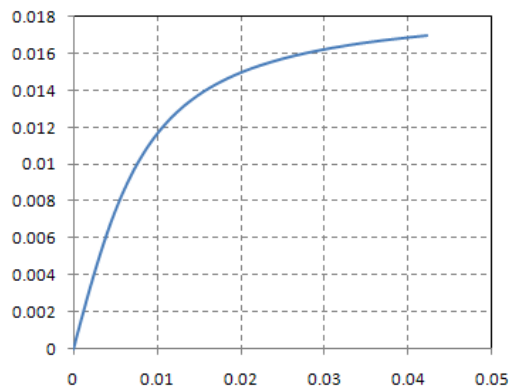
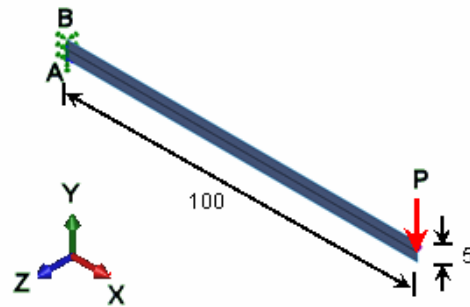
- 弹性模量 (E) = $10 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$
- 泊松比 (ν) = 0

结果

在目标位置定义一个**工作流灵敏传感器**, 并使用 **Probe** 工具绘制 UZ 位移分量的图形。使用图形软件结果处理以生成图形。

X 轴以毫米为单位显示 UZ 位移分量, Y 轴以牛为单位显示施加的载荷。

载荷 - 挠度曲线与参考文献中所提供的有限元解一致。



参考文件

NAFEMS Publication R0065, The International Association for the Engineering Analysis Community, "Background to Finite Element Analysis of Geometric Non-linearity Benchmarks, 1999".

NAFEMS 强制性振动基准

承受突然压力的简支薄板

假设在一块边长 10 米 X 宽 0.05 米的简支方形板上突然施加 100 N/m² 正压力,请计算板材中心位置的 UZ 位移和折弯应力峰值(SY 或 SX)。

算例类型

建立如下三个壳体算例:

算例名称	算例类型
模态阻尼	线性动态 - 瞬态 (模态阻尼)
瑞利阻尼	线性动态 - 瞬态 (瑞利阻尼)
静应力分析	静应力分析

网格类型

所有三个算例的壳网格。壳厚度 = 0.05 米 - 薄壳公式。

材料属性

线性弹性同向性。弹性模量 (E) = 2 x 10¹¹ N/m², 质量密度 (ρ) = 8000 Kg/m³, 泊松比 (ν) = 0.3。

载荷

将 100 N/m² 的正压力载荷突然施加到整个表面。

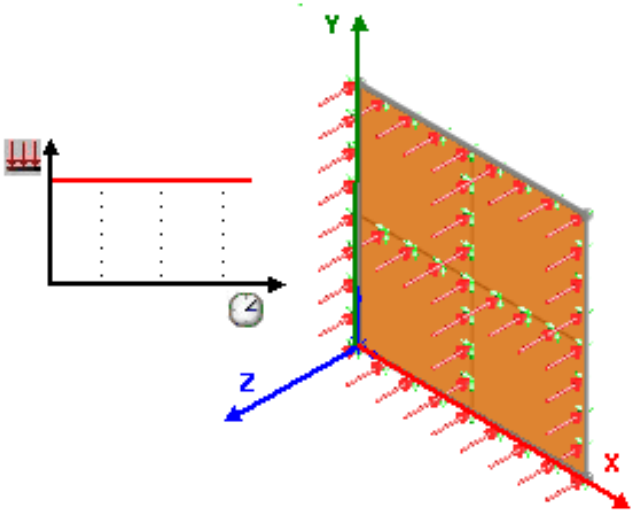
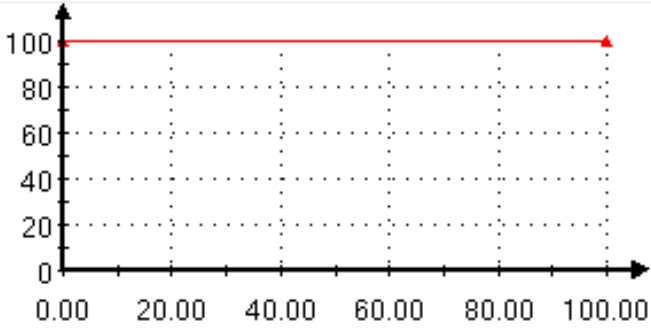
横轴为时间 (秒), 垂直轴为压力 (N/m²)。

动态选项

- 模式形状数量 = 16
- 求解时间= 1.2秒
- 时间步长 = 0.002 秒

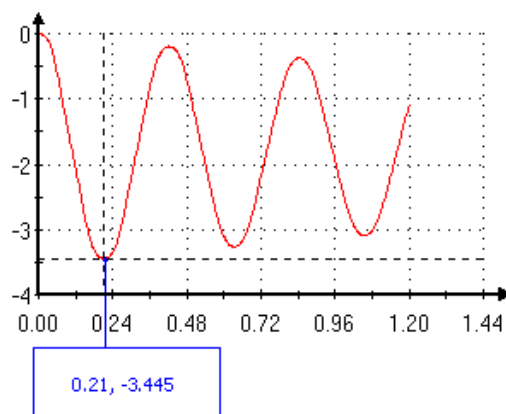
阻尼

- 模态阻尼: 临界阻尼的 2%, 适用于所有 16 种模式
- 瑞利阻尼:
质量系数 α₀ = 0.299,
刚度系数 α₁ = 1.339 x 10⁻³。



结果

板材中心的 UZ 位移和折弯应力响应图与分析结果一致。该图描绘了板材中心的 UZ 位移时间历史记录。横轴是时间 (秒), 垂直轴是 UZ (毫米)。



SOLIDWORKS Simulation			
	参考文件	模态阻尼	瑞利阻尼
中心的 UZ 位移峰值	3.523 mm (t = 0.21 秒)	3.445 mm (t = 0.21 秒)	3.457 mm (t = 0.21 秒)
中心的折弯应力峰值	2.484 N/mm ²	2.360 N/mm ²	2.296 N/mm ²
中心的稳态位移	1.817 毫米	1.775 毫米	1.775 毫米

参考文件

NAFEMS, Publication R0016, The International Association for the Engineering Analysis Community, "Selected Benchmarks for Forced Vibration", Test 13T, 1989。

利用 SOLIDWORKS Simulation 的精确度推动创新

深入了解设计在其实际运行环境中的表现可帮助您更高效、更经济地创造创新性的产品设计。

使用 SOLIDWORKS Simulation 解决方案,您可以运行一系列分析,直接从 SOLIDWORKS CAD 建模环境中获得精确的设计性能信息,且无需代价昂贵、耗时的多轮原型制作。

使用 SOLIDWORKS Simulation 将使您可以提高工作效率、控制成本、消除制造问题、最大限度地减少性能问题、提高设计信心,并更有效地协作。您可以使用精确的 SOLIDWORKS Simulation 结果做出重要的设计决策,从而以少量的时间和成本获得更高的质量和更具创新性的产品。

要了解更多关于功能强大、精确的 SOLIDWORKS Simulation 解决方案如何能够改进开发过程的信息,请访问 www.solidworks.com.cn/simulation 或者致电 1 800 693 9000 或 1 781 810 5011。

我们的 **3DEXPERIENCE** 平台为我们服务于 12 个行业领域的品牌应用程序提供了技术驱动,同时提供了一系列丰富的行业解决方案经验。

3DEXPERIENCE® 公司达索系统为企业和用户提供可持续构想创新产品的虚拟空间。本公司全球领先的解决方案转变了产品的设计、生产和支持方式。达索系统协作解决方案促进社会创新,实现了更多通过虚拟世界改善现实世界的可能性。本集团为 140 多个国家/地区、各行各业、不同规模的 220000 多家客户带来价值。更多信息,请访问 www.3ds.com/zh。

